

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

ЗНИЖЕННЯ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ РОБОЧОЇ ЗОНИ НА ДЕРЕВООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

М. М. Мадані¹¹Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна

УДК 502.928.93

DOI: 10.52363/2522-1892.2022.1.10

Отримано: 17 лютого 2022

Прийнято: 7 квітня 2022

Cite as: Madani M. (2022). Reduction of air dust of the work zone at woodworking enterprises. Technogenic and ecological safety, 11(1/2022), 68–73. doi: 10.52363/2522-1892.2022.1.10

Анотація

Проведена оцінка запиленості повітря на робочих місцях деревообробного підприємства. Виявлено, що запиленість повітря на робочих місцях перевищує встановлений норматив ГДК_{рз} для деревного пилу в середньому в 1,3...2,5 рази. Найбільш несприятливі умови праці відзначаються на робочих місцях верстатників шліфувально-стрічкових верстатів, де концентрація пилу досягає 5,7 ГДК_{рз}.

Досліджено процеси поширення і осідання пилу у виробничих приміщеннях. Встановлено, що незалежно від породи деревини, зміна запиленості повітря робочої зони і щільності пилоосідання в виробничих приміщеннях на різних відстанях від джерел пиловидалення підпорядковується експоненціальним законом. Отримано експериментальні залежності, що характеризують ці зміни.

Обстежено діючі системи аспірації. Встановлено невідповідність обсягів повітря, що видаляється від обладнання, проектним значенням, що призводить до вибивання пилу в повітря робочої зони і обумовлює підвищену запиленість на робочих місцях. Обстеження систем аспірації показало, що причиною нестійкої їх роботи є наявність відкладень пилу на внутрішніх поверхнях горизонтальних повітроводів.

Ключові слова: очищення пилових викидів, технічна екологія, технології захисту атмосфери.

Вступ

Технологічні процеси при виробництві виробів з деревини супроводжуються значними виділеннями пилу у виробничі приміщення. Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 деревний пил за ступенем негативного впливу на працівників віднесено до мало небезпечних речовин (IV клас), хоча цей пил характеризується абразивними властивостями, відноситься до аерозолів переважно фіброгенної дії і в виробничих умовах може викликати алергічні реакції. Постійна контакт з деревним пилом призводить до різних захворювань органів дихання, шкіри і очей, а також до розвитку пневмоконіозу та пилового бронхіту. Не випадково деякі дослідники вважають, що слід переглянути питання про віднесення деревного пилу до класу малонебезпечних речовин і питання про нормативний його вміст у повітрі робочої зони [1–3].

Проведені раніше дослідження [3–6], пов'язані з вирішенням проблеми зниження запиленості повітряного середовища на деревообробних підприємствах, в більшій мірі були спрямовані на вирішення питань, пов'язаних зі зниженням пилових викидів в атмосферне повітря, і в меншій – на вирішення проблеми знепилювання робочої зони. При цьому існуючі методи боротьби з пиловим забрудненням виробничих приміщень часто не враховують дисперсний склад і основні властивості деревного пилу, що надходить в робочу зону при виконанні різних технологічних операцій з обробки деревини різних порід. Також недостатньо вивчені процеси поширення і осідання пилу, що утворюється при виробництві виробів з дерева. Тому дослідження, спрямовані на вивчення перерахованих факторів, що визначають формування пилової обстановки на підприємстві, є актуальними.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Відповідно до ГОСТ 12.1.005–88, до числа шкідливих виробничих факторів, дія яких на працюючих можлива в технологічних процесах обробки деревини, віднесені підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони.

Вирішенням питань, пов'язаних зі зниженням запиленості повітряного середовища на підприємствах деревообробної промисловості, займалися багато дослідників – Дадак Ю. Р., Лапкаєв А. Г., Балтук В. А., Екба С. І., Хазір Е., Кмініак Р., Матра М. та інші [1–9]. Однак у зв'язку з «малою безпекою» деревного пилу ці дослідження в більшій мірі були спрямовані на вирішення питань, пов'язаних зі зниженням пилових викидів в атмосферне повітря, і в меншій – на вирішення проблем знепилювання повітря робочої зони.

Більшість дослідників [1, 4, 6–10] відзначають, що висока запиленість повітря на робочих місцях верстатників під час виробництва дерев'яних конструкцій, в першу чергу обумовлена неефективною і нестійкою роботою аспіраційних систем. Досвід експлуатації таких установок показує, що в процесі роботи на внутрішніх поверхнях горизонтальних повітроводів утворюються відкладення пилу. Внаслідок цього знижується об'єм повітря, що видаляється відсмоктувачами від устаткування, що в свою чергу приводить до вибивання пилу в повітря робочої зони.

З урахуванням цього як напрямок дослідження було вибрано визначення вихідних даних для підвищення ефективності знепилювання повітряного середовища у виробничих приміщеннях підприємств деревообробки.

Мета та завдання дослідження

Метою статті є дослідження процесів поширення, осідання, уловлювання та основних властивостей пилу, що утворюється при виробництві дерев'яних конструкцій. Для досягнення поставленої мети в статті вирішувалися наступні завдання:

– оцінити запиленість повітря на найбільш характерних робочих місцях деревообробних підприємств;

– дослідити процеси поширення і осідання деревного пилу у виробничих приміщеннях при різних способах організації знепилювання повітря робочої зони при виробництві виробів з деревини;

– провести обстеження систем аспірації та оцінити пилову обстановку на підприємствах з виробництва дерев'яних конструкцій та виробів.

Матеріали та методи дослідження

Основним об'єктом дослідження були пилові викиди деревообробного підприємства «Песа», виробничі потужності якого знаходяться у с. Хатки Тернопільської області. Методи досліджень включали: аналітичне узагальнення відомих наукових і технічних результатів, експериментальні дослідження в лабораторних і промислових умовах, обробку експериментальних даних методами математичної статистики і кореляційного аналізу.

Достовірність наукових положень і висновків обґрунтована застосуванням класичних положень теоретичного аналізу, плануванням необхідного обсягу експериментів, підтвердження критерієм збіжності отриманих результатів експериментальних досліджень, виконаних в лабораторних і промислових умовах, з результатами інших авторів.

Результати досліджень

Оцінка запиленості повітря на робочих місцях. Експериментальні дослідження з оцінки вмісту пилу в повітрі в зоні дихання, тобто в просторі в радіусі до 50 см від обличчя працюючого, проводилися на найбільш характерних робочих місцях. Заміри здійснювалися в холодний, перехідний і теплий періоди року. Отримані дані показали, що залежно від породи деревини і способу організації знепилювання, концентрація деревного пилу в повітрі на робочих місцях працівників змінювалась в межах:

- у кругло-пилкових верстатів 1,98...2,5 ГДК_{рз};
- у стругальних верстатів 1,2...1,54 ГДК_{рз};
- у фрезерних верстатів 1,28...1,6 ГДК_{рз};
- у шипорізних верстатів 1,17...1,58 ГДК_{рз};
- у стрічко-пилкових верстатів 1,0...1,3 ГДК_{рз};
- у свердлильних верстатів 0,88...1,04 ГДК_{рз};
- у шліфувально-стрічкових верстатів 4,7...5,7 ГДК_{рз}.

Отримані дані свідчать про те, що нормативна запиленість забезпечується тільки на робочих місцях у свердлильних верстатів. Найгірші умови відзначаються на робочих місцях верстатників шліфувально-стрічкових верстатів. При обробці різних за твердістю порід деревини концентрація

пилу в повітрі робочої зони при виконанні однієї і тієї ж технологічної операції змінюється в межах 2...11 %, тобто в середньому на 6,5 %. Крім того, встановлено, що запиленість повітряного середовища на робочих місцях знижується при подачі повітря безпосередньо в робочу зону в порівнянні з подачею повітря з висоти до 4 м.

Дослідження розповсюдження пилу в повітрі робочої зони. На рис. 1 представлені результати досліджень процесів розповсюдження пилу в повітрі робочої зони, наведені графічні залежності, що характеризують зміну запиленості повітря на різних відстанях від кругло-пилкового верстата при обробці сосни. Аналогічні дані отримані і для інших порід деревини, а також для інших верстатів.

Обробка експериментальних даних показала, що при роботі одного будь-якого верстата зміна концентрації пилу в повітрі робочої зони на рівні дихання працюючих залежно від відстані від верстата підпорядковується експоненціальному закону і в загальному вигляді може бути виражена залежністю виду

$$C_x = C_{рм} \exp(-ax), \quad (1)$$

де $C_{рм}$ – концентрація пилу в повітрі на робочому місці у відповідного верстата, мг/м³.

Значення коефіцієнта a для різних верстатів визначені за результатами натурних експериментальних досліджень і наведені в табл. 1.

Дослідження розповсюдження пилу по висоті приміщення. Для дослідження процесів розповсюдження пилу по висоті відбір проб здійснювався через кожні 0,5 м висоти при двох способах подачі свіжого повітря в приміщення – подача з висоти до 4 м і подача безпосередньо в робочу зону. Осереднені результати досліджень у вигляді графічних залежностей представлені на рис. 2. При цьому прийняті наступні позначення: \bar{h} – висота замірного перерізу, віднесена до висоти приміщення; C_i – концентрація пилу в i -тому замірному перерізі, мг/м³; $C_{вих}$ – концентрація пилу в повітрі, що видаляється в атмосферу з верхньої зони приміщення, мг/м³.

Таблиця 1 – Експериментальні значення коефіцієнта a в експоненційних залежностях, що характеризують зміну концентрації пилу в повітрі робочої зони залежно від відстані від різних верстатів

Назва верстатів	a
Кругло-пилкові	-0,501
Стругальні	-0,658
Фрезерні	-0,624
Шипорізні	-0,626
Стрічко-пилкові	-0,884
Свердлильні	-0,936
Шліфувально-стрічкові	-0,11

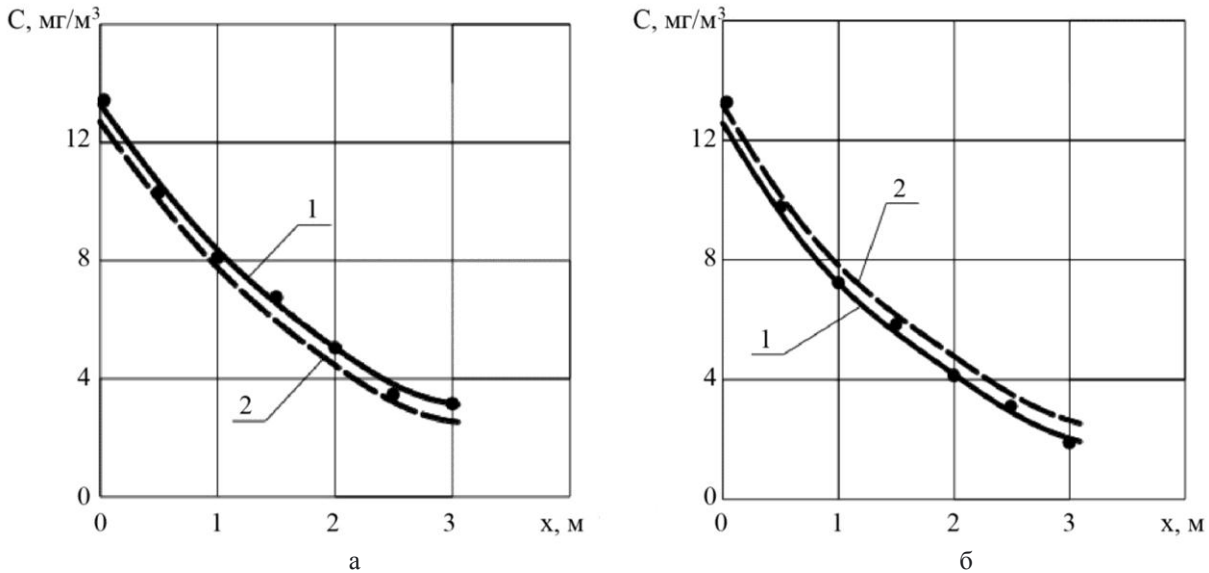


Рисунок 1 – Зміна концентрації пилу в повітрі робочої зони на висоті 1,5 м на різних відстанях від кругло-пилного верстата для пилу, що утворюється при обробці сосни:
 а – при подачі повітря з висоти до 4 м; б – при подачі повітря безпосередньо в робочу зону;
 1 – за результатами експериментальних досліджень; 2 – за виразом (1) і даними табл. 1

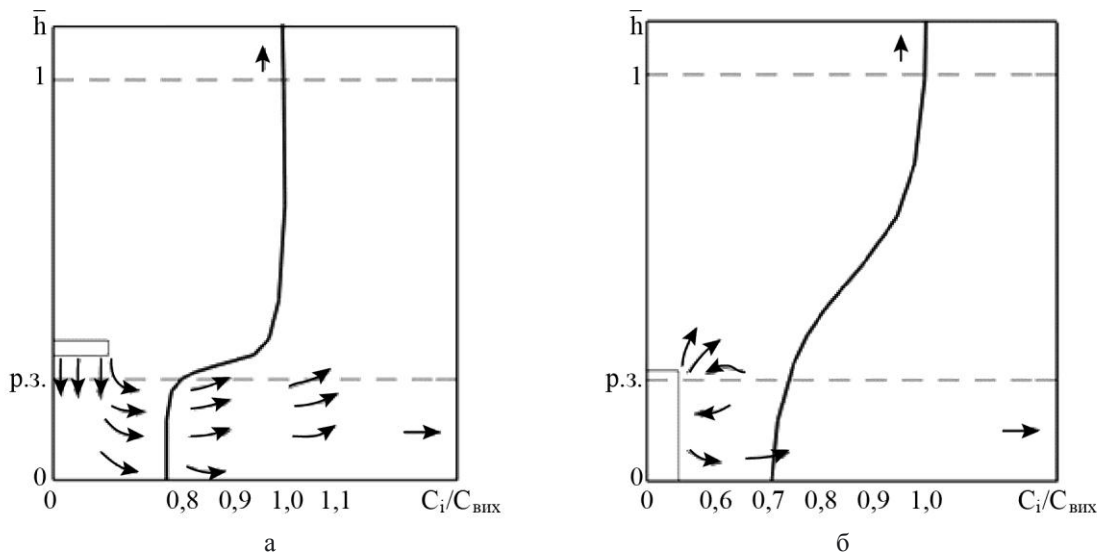


Рисунок 2 – Зміна концентрації пилу по висоті цеху при подачі повітря:
 а – безпосередньо в робочу зону; б – з висоти до 4 м

При подачі повітря безпосередньо в робочу зону (рис. 2, а) відбувається вигіснення відпрацьованого повітря за її межі і виключається залучення в циркуляцію забрудненого повітря з верхньої зони приміщення. Разом з тим відзначається поступове зростання запиленості повітря за межами робочої зони, і в атмосферу загально-обмінними системами вентиляції викидається повітря з великим вмістом пилу, більшим ніж в робочій зоні.

Для випадку подачі повітря з висоти до 4 м (рис. 2, б) характерно різке зростання концентрації пилу на рівні розташування повітро-роздавального пристрою. Потім концентрація пилу по висоті цеху залишається майже незмінною, але в атмосферу також викидається повітря з великим вмістом пилу, більшим ніж в робочій зоні.

Дослідження процесів осідання пилу. На рис. 3 представлені результати досліджень процесів пилоосідання. Наведені графічні залежності, побудовані за осередненими даними для різних способів подачі повітря в приміщення і для пилу різних деревних порід. Ці залежності характеризують зміну щільності осідання пилу на підлозі виробничого приміщення на різних відстанях від свердлильного (рис. 3, а) і шліфувально-стрічкового верстатів (рис. 3, б). Аналогічні результати отримані також і для інших верстатів.

Аналіз отриманих даних показав, що незалежно від породи деревини і способу подачі повітря зміна щільності осідання пилу з відстанню від верстата підпорядковується експоненціальному закону.

За результатами обробки експериментальних даних встановлено, що ця зміна апроксимується виразом вигляду

$$C_x = B \exp(-bx), \quad (2)$$

де B , b – постійні, які визначаються експериментально для кожного типу верстата.

Значення коефіцієнтів B і b для різних верстатів визначені за результатами експериментальних досліджень і наведені в табл. 2.

Результати обстеження систем аспірації. При проведенні досліджень з оцінки пилової обстановки на підприємствах з виробництва дерев'яних конструкцій та виробів було проведено обстеження аспіраційних систем, призначених для знепилювання повітряного середовища виробничих приміщень. Обстеження проходило в кілька етапів і включало в себе: аналіз проектних рішень; візуальне обстеження; визначення аеродинамічних характеристик і запиленості повітряних потоків; зіставлення розрахункових і фактичних значень об'ємів повітря, що відсмоктується від обладнання; перевірку наявності пилових відкладень в повітропроводах під час проведення замірів; визначення загальної ефективності роботи пиловловлювальних пристроїв. Крім того, за даними обстежуваного підприємства встановлювалося число прочисток системи протягом року і число відмов апаратів пилоочистки через їх забивання за цей же період.

В табл. 3 наведені результати для двох з обстежених систем. Система В1 (рис. 4) обслуговує стрічково-пилні, рейсмусовий і фрезерний верстати. Система В2 (рис. 5) передбачена для обслуговування фугувальних верстатів різних марок. Обидві системи відносяться до розгалужених, які, як правило, використовуються в цехах або на ділянках з невеликою кількістю верстатів, або в виробничих приміщеннях, де встановлення колекторної системи неможливо через невелику висоту.

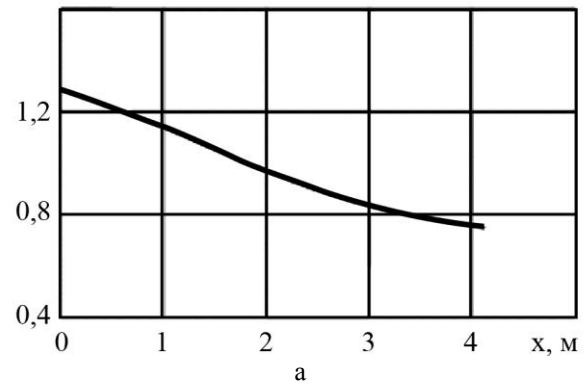
Отримані результати показали, що незалежно від частоти проведення очисток повітропроводів аспіраційної системи, відзначається наявність відкладень пилу. Витрати об'ємів повітря, що видаляються системою від окремих одиниць обладнання, знижені в порівнянні з проектними даними, і можуть досягати більш ніж 20 %. Також слід зазначити низьку ефективність застосовуваних у системах аспірації циклонів і їх часті відмови.

Висновки

За результатами виконаних комплексних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Дослідженнями з оцінки пилової обстановки на розглянутому підприємстві було виявлено, що запиленість повітря на робочих місцях перевищує встановлений норматив ГДК_{рз} для деревного пилу в середньому в 1,3...2,5 рази. При цьому найбільш несприятливі умови праці відзначаються на робочих місцях верстатників шліфувально-стрічкових верстатів, де концентрація пилу досягає значень до 5,7 ГДК_{рз}.

G, г/м³·год



G, г/м³·год

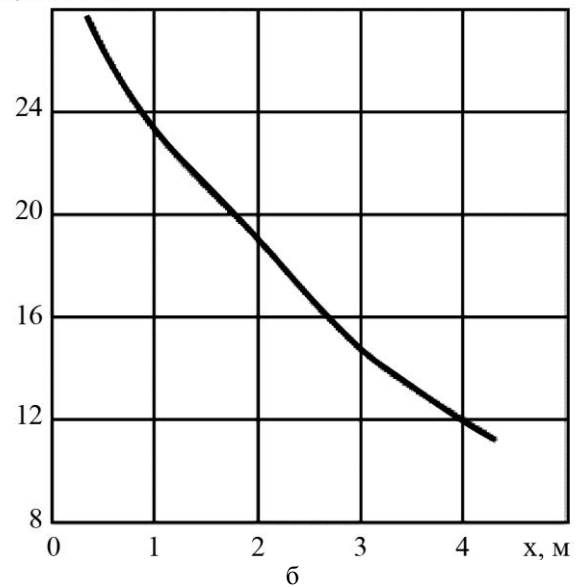


Рисунок 3 – Осереднені значення щільності осідання пилу на підлозі виробничого приміщення на різних відстанях від верстатів: а – свердлильного; б – шліфувально-стрічкового

Таблиця 2 – Експериментальні значення коефіцієнтів в експоненційних залежностях, що характеризують зміну щільності осідання пилу на підлозі виробничого приміщення з відстанню від різних верстатів

Назва верстатів	B	b
Кругло-пилкові	13,58	-0,0078
Стругальні	9,18	-0,22
Фрезерні	9,24	-0,226
Шипорізні	9,08	-0,226
Стрічко-пилкові	7,94	-0,038
Свердлильні	1,28	-0,126
Шліфувально-стрічкові	29,6	-3,11

2. На підставі результатів експериментальних досліджень процесів поширення і осідання пилу у виробничих приміщеннях встановлено, що незалежно від породи деревини, зміна запиленості повітря робочої зони і щільності пилоосідання в виробничих приміщеннях на різних відстанях від джерел пиловидалення підпорядковується експоненціальним законом. Отримано експериментальні залежності, що характеризують ці зміни залежно від виду виконуваної технологічної операції.

3. Результати обстеження діючих систем аспірації показали невідповідність обсягів повітря, що видаляється від обладнання, проектним значенням, що призводить до вибивання пилу в повітря робочої зони і обумовлює підвищену запиленість на робочих місцях верстатників. Аналіз досвіду експлуатації і результатів власного обстеження систем аспірації показав, що причиною нестійкої їх роботи є наявність відкладень пилу на внутрішніх поверхнях горизонтальних повітропроводів.

Таблиця 3 – Результати обстеження систем аспірації В1 і В2

Номер замірного перерізу	Витрата повітря, м ³ /год		Розбіжність, %	Наявність пилових відкладень	Число прочисток на рік	Ефективність пиловловлювання, %	Число відмов циклона на рік
	проектна	фактична					
Система В1. Циклон-650							
1	1300	1182	-10	+	6	87,8	7
2	1360	1276	-6,6	+			
3	2660	2458	-8,2	+			
4	1320	1096	-20,4	+			
5	3980	3554	-12	+			
Система В2. Циклон-720							
1	1080	996	-8,4	+	11	83,2	4
2	1680	1574	-6,7	+			
3	1380	1262	-9,4	+			
4	2760	2570	-7,4	+			
5	4140	3832	-7,9	+			

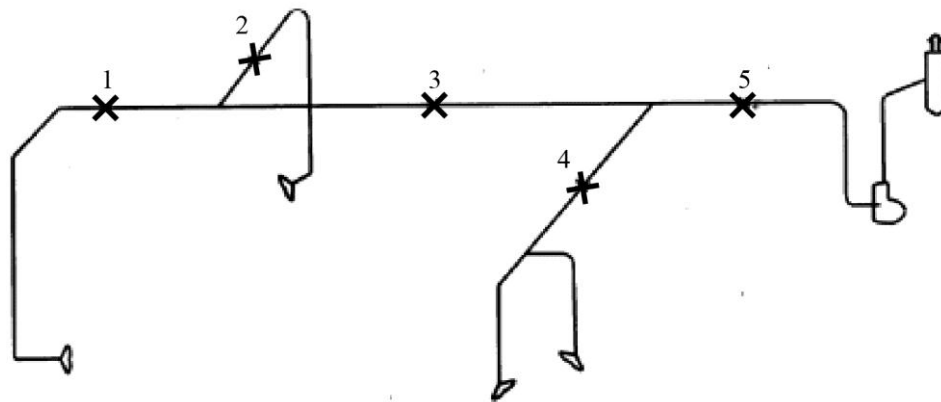


Рисунок 4 – Схема обстежуваної системи В1:
 X – перерізи, в яких проводились заміри

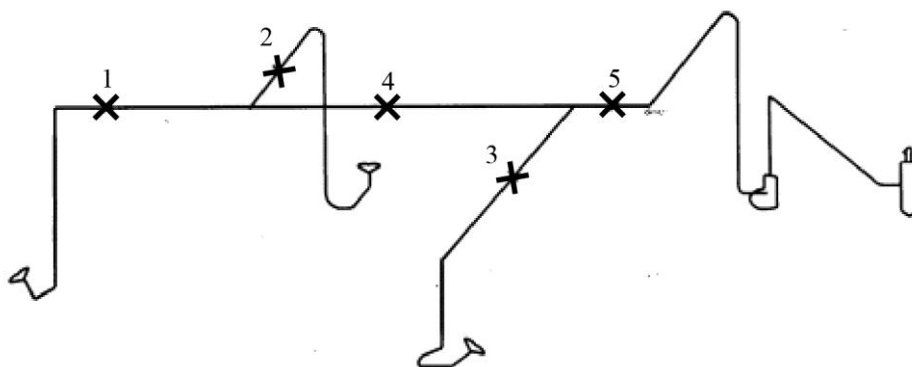


Рисунок 5 – Схема обстежуваної системи В2:
 X – перерізи, в яких проводились заміри

ЛІТЕРАТУРА

1. Дадак Ю. Р., Ляшенко А. В., Климаш Р. Р. Шкідливість пилу деревини від деревооброблення. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. № 25(1). С. 174–179.
2. Дадак Ю. Р., Ляшенко А. В. Чинники комплексного вирішення питання екологічної ефективності процесів знепилення на деревообробних підприємствах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. № 26.7. С. 277–284.
3. Батлук В. А., Василів Р. М., Стець Р. Є. Підвищення ефективності вловлення дрібнодисперсних фракцій пилу в системах очистки повітря від пилу деревообробних підприємств. *Промислова гідраліка і пневматика*. 2012. № 4. С. 43–49.
4. Врахування параметрів аерозольних викидів під час розробки технологічних рішень зменшення впливу на довкілля / Козій І. С. та ін. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. 2021. Вип. 9(1/2021). С. 3–10. DOI: 10.52363/2522-1892.2021.1.1.
5. Дорундяк Л. М. Результати дослідження ефективності процесу пиловловлення у циклоні для системи перекачування деревних відходів. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. № 22.14. С. 152–157.
6. Hazir E., Koc K. H. Optimization of wood machining parameters in CNC routers: Taguchi orthogonal array based simulated angling algorithm. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*. 2019. Vol. 21. P. 493–510. DOI: 10.4067/S0718-221X2019005000406.
7. Granulometric characterization of wood dust emission from CNC machining of natural wood and medium density fiberboard / Kminiak R. et al. *Forests*. 2021. Vol. 12. No. 8. P. 1039–1052. DOI: 10.3390/f12081039.
8. Occupational exposure to wood dust and risk of lung cancer: The ICARE study / Matrat M. et al. *Occupational & Environmental Medicine*. 2019. Vol. 76. No. 12. P. 901–907. DOI: 10.1136/oemed-2019-105802.
9. Nasir V., Cool J. A review on wood machining: characterization, optimization, and monitoring of the sawing process. *Wood Material Science & Engineering*. 2020. Vol.15. No. 1. P. 1–16. DOI: 10.1080/17480272.2018.1465465.
10. Occupational exposure to dust produced when milling thermally modified wood / Ockajová A. et al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17. No. 5. P. 1478–1493. DOI: 10.3390/ijerph17051478.

Madani M.**REDUCTION OF AIR DUST OF THE WORK ZONE AT WOODWORKING ENTERPRISES**

The assessment of air dust at the workplaces of the woodworking enterprise was carried out. It was found that the dust in the workplace exceeds the established standard MPC for wood dust by an average of 1.3...2.5 times. The most unfavorable working conditions are observed at the workplaces of grinding and belt machine operators, where the dust concentration reaches 5.7 MPC.

The processes of spreading and settling of dust in production facilities have been studied. It is established that regardless of the wood species, the change in the dust content of the working area and the density of dust in the production premises at different distances from the sources of dust removal is subject to the exponential law. Experimental dependences characterizing these changes are obtained.

Existing aspiration systems were examined. The discrepancy between the volumes of air removed from the equipment and the design value has been established, which leads to the removal of dust into the air of the work area and causes increased dust in the workplace. Examination of aspiration systems showed that the reason for their unstable operation is the presence of dust deposits on the inner surfaces of horizontal air ducts.

Key words: dust emission treatment, technical ecology, environmental protection measure.

REFERENCES

1. Dadak, Yu. R., Liashenyk, A. V., & Klymash, R. R. (2015). Shkidlyvist pylu derevyny vid derevoobroblennia. [Harmfulness of wood dust from woodworking]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 25(1), 174–179 [in Ukrainian].
2. Dadak, Yu. R., & Liashenyk, A. V. (2016). Chynnyky kompleksnoho vyrishennia pytannia ekolohichnoi efektyvnosti protsesiv znepylennia na derevoobrobnykh pidpryemstvakh. [Factors of the complex decision of a question of ecological efficiency of processes of dedusting at the woodworking enterprises]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 26.7, 277–284 [in Ukrainian].
3. Batluk, V. A., Vasylyv, R. M., & Stets, R. Ie. (2012). Pidvyshchennia efektyvnosti vlovlennia dribnodispersnykh fraktsii pylu v systemakh ochystky povitria vid pylu derevoobrobnykh pidpryemstv. [Improving the efficiency of capturing fine dust fractions in air purification systems from dust of woodworking enterprises]. *Promyslova hidravlika i pnevmatyka*, 4, 43–49 [in Ukrainian].
4. Kozii, I. S., Pliatsuk, L. D., Hurets, L. L., & Trunova, I. O. (2021). Vrahuvannia parametriv aerezolnykh vykydiv pid chas rozrobky tekhnolohichnykh rishen zmenshennia vplyvu na dovkillia. [Taking into account the parameters of aerosol emissions during the development of technological solutions to reduce environmental impact]. *Technogenic and ecological safety*, 9(1/2021), 3–10. DOI: 10.52363/2522-1892.2021.1.1. [in Ukrainian].
5. Dorundiak, L. M. (2012). Rezultaty doslidzhennia efektyvnosti protsesu pylovlovlennia u tsykloni dlia systemy perekachuvannia derevnykh vidkhodiv. [The results of the study of the efficiency of the cyclone dust collection process for the wood waste pumping system]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 22.14, 152–157 [in Ukrainian].
6. Hazir, E., & Koc, K. H. (2019). Optimization of wood machining parameters in CNC routers: Taguchi orthogonal array based simulated angling algorithm. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 21, 493–510. DOI: 10.4067/S0718-221X2019005000406.
7. Kminiak, R., Kucerka, M., Kristak, L., & Reh, R. (2021). Granulometric Characterization of Wood Dust Emission from CNC Machining of Natural Wood and Medium Density Fiberboard. *Forests*, 12(8), 1039–1052. DOI: 10.3390/f12081039.
8. Matrat, M., Radoi, L., Févotte, J., Guida, F., Céné, S., Cyr, D., Sanchez, M., Menvielle, G., Schmaus, A., Marrer, E., Luce, D., Stücker, I., & ICARE Study Group. (2019). Occupational exposure to wood dust and risk of lung cancer: The ICARE study. *Occupational & Environmental Medicine*, 76(12), 901–907. DOI: 10.1136/oemed-2019-105802.
9. Nasir, V., & Cool, J. (2020). A review on wood machining: characterization, optimization, and monitoring of the sawing process. *Wood Material Science & Engineering*, 15(1), 1–16. DOI: 10.1080/17480272.2018.1465465.
10. Ockajová, A., Kucerka, M., Kminiak, R., & Křišťák, L'. (2020). Occupational exposure to dust produced when milling thermally modified wood. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1478–1493. DOI: 10.3390/ijerph17051478.